



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ELÉCTRICA

RECEPTOR DE EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS DE FENÓMENOS NATURALES

Alumno: IÑAKI SANZ LLAMAS

Tutor: VICENTE SENOSIAIN MIQUELEZ

Pamplona, 16 de mayo de 2013

ÍNDICE

Prólogo	3
1. Antecedentes	4
2. La onda electromagnética	5
2.1. Bandas de frecuencia	6
2.2. Tipos de señales	7
3. Propagación	8
3.1. Ley inversa del cuadrado	8
3.2. Ionosfera	9
3.2.1. Capa D	10
3.2.2. Capa E	10
3.2.3. Capa F	10
3.3. Actividad solar	11
4. Captación VLF	12
4.1. Localización	12
5. Elementos del receptor	15
5.1. Antena	15
5.1.1. Principio de reciprocidad	15
5.1.2. Antena isotrópica	15
5.1.3. Características	15
5.1.4. Tipos de antena	17
5.1.5. Antena monopolo	19
5.2. Circuito	22
6. Análisis	30
6.1. Software	30
6.2. Configuración software Spectrum Lab	31
6.3. Análisis de las señales	34
6.3.1. Señales recibidas por mi receptor	35
Conclusión	40
Bibliografía	41

PRÓLOGO

Este proyecto tiene como objetivo ofrecer una visión clara y sencilla sobre la recepción de emisiones electromagnéticas. En concreto, emisiones electromagnéticas emitidas por tormentas y auroras boreales.

A pesar de que las tormentas pueden ocurrir durante todo el año y a cualquier hora del día, existen momentos concretos en los que es más sencilla su recepción. Con las auroras boreales, ocurre lo mismo. Aquí se expondrán los momentos ideales para dichas capturas.

En referencia al material empleado, se utilizará material sencillo al alcance de cualquier persona para que cualquiera que esté interesado en la recepción de ondas electromagnéticas pueda llevar a cabo su realización.

1. ANTECEDENTES

Para encontrar la primera recepción de ondas de radio, tenemos que retroceder hasta finales del siglo XIX. Según Robert Helliwell, ingeniero estadounidense y profesor de la universidad de Stanford, el primer informe sobre una recepción de este tipo, tuvo lugar en Austria. En concreto, el primer ‘whistler’ se recibió con el receptor de un teléfono conectado a una línea telegráfica de 22km.

En 1894, en el mes de marzo, cuando se podían visualizar las auroras boreales, muchos observadores ingleses conectaron sus receptores de teléfono a las largas líneas telegráficas.

Unos cuantos años más tarde, durante la primera guerra mundial, mediante diferentes sistemas pinchaban las comunicaciones telefónicas del enemigo. A veces, una especie de silbidos interferían en las comunicaciones. Heinrich Barkhausen, investigador y descubridor del efecto que lleva su nombre, pensó que dichos silbidos provenían de los amplificadores que se empleaban para las escuchas. Los soldados que operaban en las líneas de comunicación decían, que se podían oír las granadas cayendo, sin saber que se trataban de emisiones electromagnéticas. Años después, Barkhausen concluyó sus investigaciones diciendo que aquellos silbidos eran de origen desconocido.



Imagen 1

Entre 1925 y 1929, se relacionaron por primera vez esos sonidos con las tormentas magnéticas.

Entre los años 1931 y 1951, coincidiendo también con la segunda guerra mundial, no se conocen estudios relacionados con estos fenómenos. Cabe destacar que antes de los años 50, apenas 15 documentos fueron publicados sobre este tema. Con el descubrimiento de la cinta casete, estos estudios se fueron intensificando puesto que este invento, permitía grabar los sonidos para después analizarlos.

A principios de los años 50, L.R.O. Storey comenzó en Cambridge un estudio serio sobre los ‘whistlers’. Su trabajo ayudó a conocer más sobre la naturaleza y el origen de esos sonidos.

En 1965, Robert Helliwell, publicó el libro ‘*Whistlers and Related Ionospheric Phenomena*’. A partir de ahí, es imposible contar el número de documentos y estudios que se han llevado a cabo. Hoy en día, muchas personas tienen como hobby oír los sonidos naturales que emite la tierra.

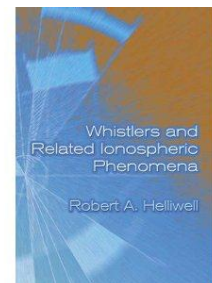


Imagen 2

La NASA, mediante el programa *inspire* y la universidad de Stanford, mediante su grupo de investigación VLF, dirigido hasta 1985 por el mencionado Helliwell y hoy en día por Umran Inan, son dos de los grupos más importantes en la investigación de este tipo de fenómeno.

2. LA ONDA ELECTROMAGNÉTICA

Al caer un rayo en la superficie terrestre o en cualquier otro punto, se produce una radiación electromagnética. Una onda electromagnética, es la forma de propagación a través del espacio de esa radiación.

La onda electromagnética se compone como su nombre bien dice, de un componente eléctrico y de otro componente magnético. Ambos componentes, viajan en la misma dirección y además, ambos campos son perpendiculares entre sí, es decir, que una está en ángulo recto respecto de la otra.

Cuando la onda electromagnética intercepta la antena receptora, le transfiere una copia exacta de la onda.

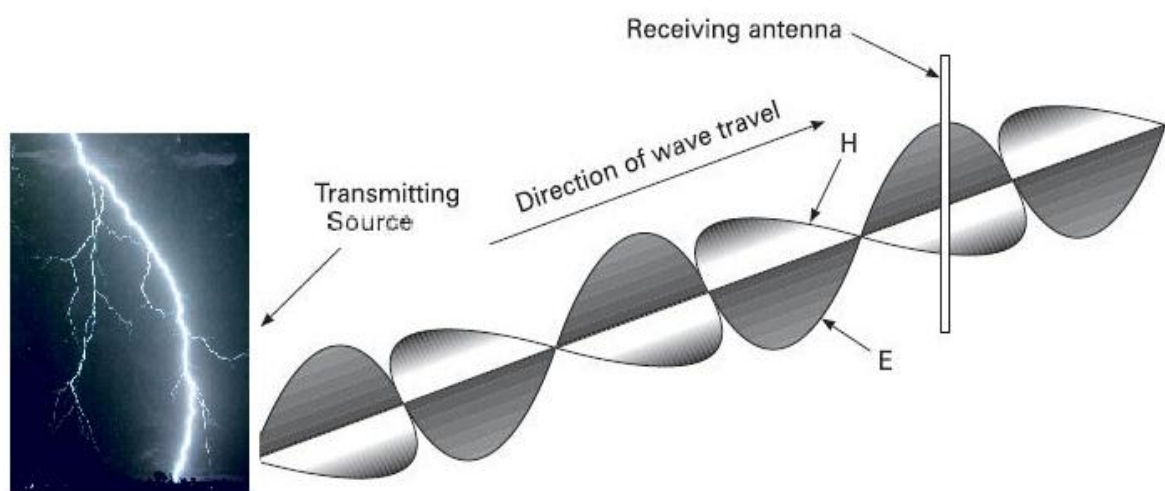


Imagen 3: Composición de la onda electromagnética

Los campos eléctricos y magnéticos ortogonales, son importantes a la hora de diseñar nuestra antena. Si tuviésemos la capacidad de visualizar una onda electromagnética que se acerca hacia nosotros directamente, veríamos en un plano el vector del campo eléctrico apuntando hacia un punto y el del campo magnético apuntando a 90 grados hacia otro punto, como podemos ver en la *imagen 4*.

La polarización de la señal, es la dirección del vector del campo eléctrico. Por lo tanto, si el campo eléctrico va en la dirección de arriba abajo, la antena receptora deberá colocarse en posición vertical y si el campo eléctrico va en la dirección de izquierda a derecha, se deberá colocar en posición horizontal.

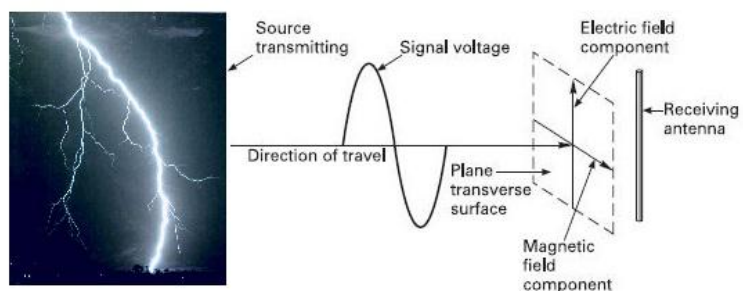


Imagen 4: Polarización de la antena en función de la onda

2.1. BANDAS DE FRECUENCIA

Podemos encontrarnos diferentes frecuencias. A la hora de clasificarlas, se dividen en rangos de frecuencia, adquiriendo cada uno una denominación diferente. El espectro radioeléctrico o de ondas de radio comprende desde los 3Hz de frecuencia, con una longitud de onda de 100.000km, hasta los 300GHz de frecuencia, con una longitud de onda de 1mm. En la *tabla 1* podemos ver esa clasificación y sus características.

BANDA		FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
ELF	Extremely low frequency	3Hz – 30Hz	100.000km – 10.000km
SLF	Superlow frequency	30Hz – 300Hz	10.000km – 1.000km
ULF	Ultralow frequency	300Hz – 3.000Hz	1.000km – 100km
VLF	Very low frequency	3kHz – 30kHz	100km – 10km
LF	Low frequency	30kHz – 300kHz	10km – 1km
MF	Medium frequency	300kHz – 3.000kHz	1km – 100m
HF	High frequency	3MHz -30MHz	100m – 10m
VHF	Very high frequency	30MHz – 300MHz	10m – 1m
UHF	Ultrahigh frequency	300MHz – 3GHz	1m – 10cm
SHF	Superhigh frequency	3GHz – 30GHz	10cm – 1cm
EHF	Extremely high frequency	30GHz – 300GHz	1cm – 1mm

Tabla 1: Bandas de frecuencia

La longitud de onda, que es la distancia que hay entre cresta y cresta de la onda y la frecuencia, son inversamente proporcionales. Esto se puede ver claramente sabiendo que la longitud de onda es:

$\lambda = \frac{c}{f}$; siendo $c = 300.000 \text{ km/s}$. Cuanta más pequeña es la frecuencia mayor longitud de onda tenemos.

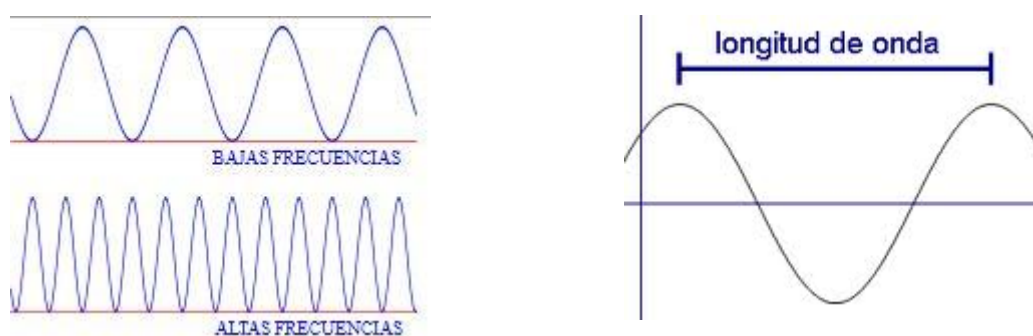


Imagen 5: Relación entre frecuencia y longitud de onda

Como podemos ver en la *imagen 5*, a bajas frecuencias la longitud de onda es mayor que a altas frecuencias.

Las ondas electromagnéticas naturales emitidas por las tormentas y las auroras boreales, tienen una frecuencia que está dentro del rango de 3kHz a 30kHz. Por lo tanto, se tratan de unas ondas VLF con una longitud de onda que va desde 10km hasta 100km.

2.2. TIPOS DE SEÑALES

Existen varios tipos de señales de los que diferenciaremos tres. Se diferencian principalmente en el sonido que emiten y en su espectro. Esas diferencias vienen precedidas por la distancia y recorrido de la onda electromagnética.

- **Sferics:** Abreviatura de “atmospherics”, son impulsos emitidos por el rayo. Su sonido es como el que surge al pisar ramas pequeñas en el suelo. También es similar al que oímos cuando freímos tocino en una sartén. La causa de la emisión es el movimiento de los relámpagos a miles de kilómetros del receptor. Su espectro característico es representado con líneas verticales.

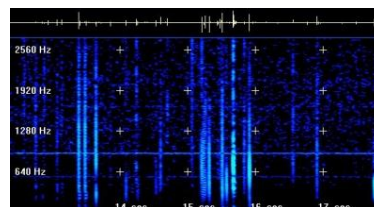


Imagen 6: Sferics

- **Tweeks:** Cuando los sferics viajan mucha distancia, aproximadamente unos 20.000 kilómetros, adoptan el nombre de tweeks. Cuando viajan largas distancias, las ondas VLF experimentan una dispersión, ya que las que las frecuencias más altas viajan levemente más rápido que las frecuencias más bajas. Su espectro característico viene representado por líneas verticales en altas frecuencias y una especie de curvatura que suele aparecer a los 2kHz.

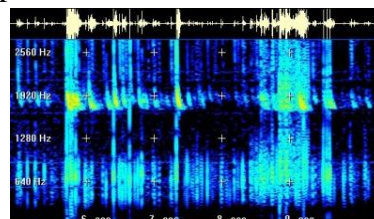


Imagen 7: Tweeks

- **Whistlers:** Bajo ciertas condiciones, la señal viaja hacia fuera de la tierra y vuelve viajando a lo largo de una línea de campo magnético. Durante esta trayectoria, la dispersión es mucho mayor que la de los tweeks. Su sonido es como un tono musical descendiente que se pierden a lo largo de unos pocos segundos. Su espectro característico viene representado por una especie de arco.

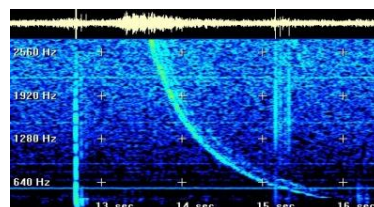


Imagen 8: Whistlers

3. PROPAGACIÓN

Encontramos diferentes formas de propagación para las ondas electromagnéticas. En concreto, las ondas VLF se propagaban mediante una guía de ondas tierra ionosfera. Reflejándose en las capas de la ionosfera y en la tierra, esas ondas son capaces de viajar muchos kilómetros. Gracias a esto, podemos recibir una señal a una distancia muy lejana de donde se ha producido la descarga.

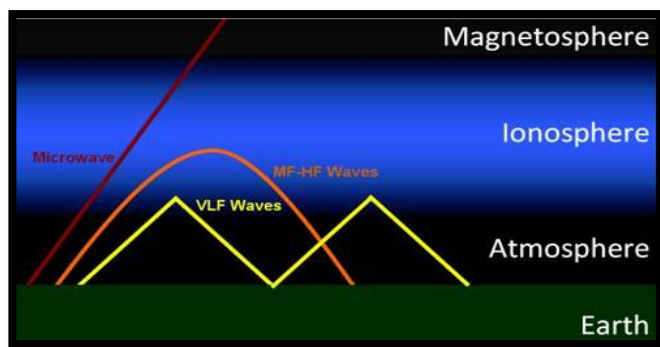


Imagen 9

La reflexión de las ondas electromagnéticas en la ionosfera, siguen las leyes de la óptica geométrica. Así, una onda que incida en la ionosfera con un ángulo ϕ_1 se verá en parte reflejada con un ángulo ϕ_2 y en parte refractada con un ángulo ϕ_3 como se muestra en la imagen 10. El ángulo de la onda incidente y el ángulo de la onda reflejada son iguales.

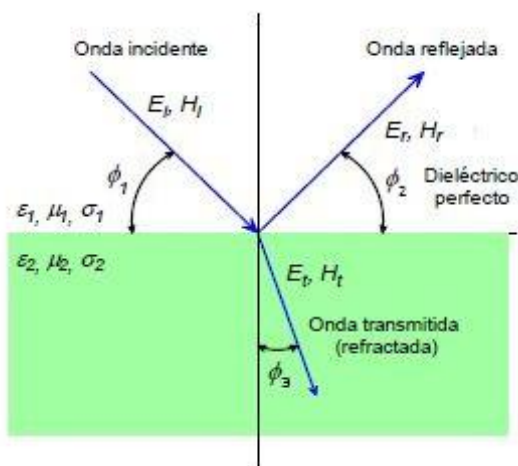


Imagen 10

Tenemos que tener en cuenta que cuanto más lejos estemos de la descarga, más débil será su señal por la ley inversa del cuadrado.

3.1. LEY INVERSA DEL CUADRADO

Cuando una onda de radio viaja, a lo largo de la distancia se va debilitando cada vez más. Según esta ley, la fuerza de la señal es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia recorrida. En la imagen 11 podemos ver una explicación de esta ley usando de analogía una vela. Si a una distancia r , una vela proyecta toda su energía lumínica, al doble de la distancia, es decir, $2r$, esa energía se dispersa. El total de energía es la misma, pero la

cantidad de energía por unidad de área se ve reducida a un cuarto respecto a lo proyectado a una distancia r . Trasladado a nuestro campo, quiere decir que cuanto más lejos estemos del origen de la descarga, recibiremos una señal más débil, por lo que necesitaremos mejores equipos y mejores antenas.

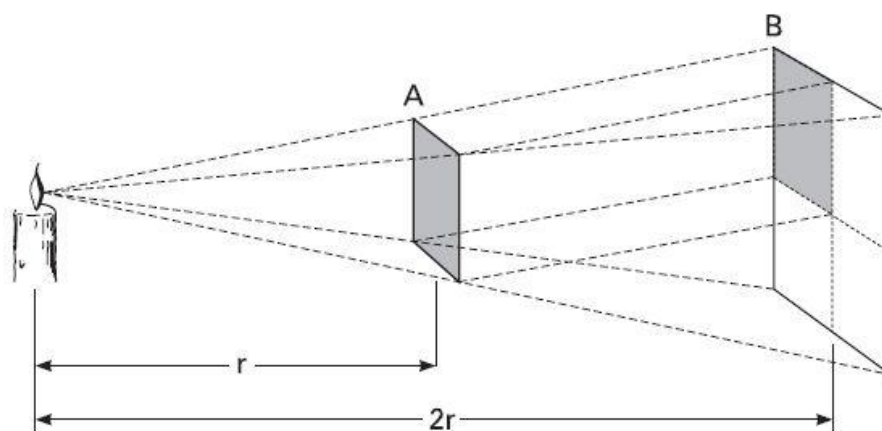


Imagen 11: Ley inversa del cuadrado

3.2. IONOSFERA

La ionosfera es una capa de la atmósfera que se extiende desde 50km de la superficie de la tierra, hasta 500km desde la superficie de la tierra. El factor que hace que esta capa sea de entre todas las demás capas de la atmósfera la que refleja las ondas, es porque la densidad del aire es mucho más baja entre otras cosas. La energía proveniente del sol hace que los electrones de las capas exteriores de las moléculas de oxígeno y nitrógeno, se separen formando iones positivos y electrones libres. Gracias a la baja densidad del aire, las partículas ionizadas tienen mayor dificultad para recombinarse y se forma un plasma, que es un estado en el que las partículas se encuentran cargadas eléctricamente y no poseen equilibrio electromagnético, por lo que se considera un buen conductor eléctrico. En otras capas de la atmósfera, como por ejemplo en la troposfera, al ser el aire más denso, las moléculas de oxígeno y nitrógeno están más juntas y la unión de las partículas libres se produce mucho antes.

La ionosfera también se divide en diferentes capas. En función de si nos encontramos en horas diurnas o en horas nocturnas, tenemos diferente número de capas. Las capas D, E y F (la capa F se divide en F1 y en F2).

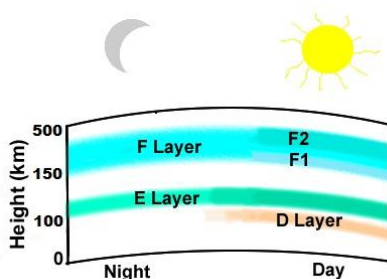


Imagen 12

3.2.1. CAPA D

Es la capa más baja de la ionosfera y se encuentra entre 50km y 90km aproximadamente sobre la superficie de la tierra y es una capa exclusivamente diurna. Esta capa no esta tan ionizada como otras porque las capas superiores a esta atenúan la energía proveniente del sol. Otra razón es que esta región es mucho más densa que la E y la F por lo que la unión de las partículas libres es más rápida.

El grado de ionización esta proporcionalmente relacionado con la posición que ocupa el sol. La capa D existe generalmente en los meses más cálidos por la posición del sol y por la cantidad de horas de luz que tiene. Además, después de la puesta de sol esta capa prácticamente desaparece.

Esta capa refleja ondas electromagnéticas en las bandas de VLF (3-30 kHz) y LF (30-300kHz), absorbe las de la banda de MF (300-3000 kHz) y absorbe parcialmente las de frecuencias mayores.

3.2.2. CAPA E

Se encuentra entre 100km y 125km aproximadamente sobre la superficie de la tierra. Es la más importante para comunicaciones diurnas, a distancias hasta de unos 2000 km y para la propagación diurna de frecuencias de la banda MF a distancias de 200 km.

Al igual que con la capa anterior, la ionización ocurre durante las horas diurnas cayendo esta rápidamente después del ocaso aunque sin desaparecer por completo.

En esta región, ocurre un fenómeno llamado capa E esporádica o capa Es, que son formaciones de zonas con ionizaciones inusualmente altas. Cuando esto ocurre, frecuencias que normalmente debían traspasar la capa E para alcanzar capas superiores, no lo hacen.

3.2.3. CAPA F

Se encuentra entre 150km y 500km aproximadamente sobre la superficie de la tierra. Al contrario que en las otras capas, la densidad del aire es tan pequeña que la ionización permanece en niveles altos prácticamente durante todo el día. Después de la puesta de sol esos niveles caen lentamente hasta alcanzar su mínimo justo antes de la salida del sol.

Durante las horas diurnas se diferencias dos subcapas denominadas como F1 y F2. La primera se encuentra entre 150km y 250km sobre la superficie de la tierra, mientras que la segunda se

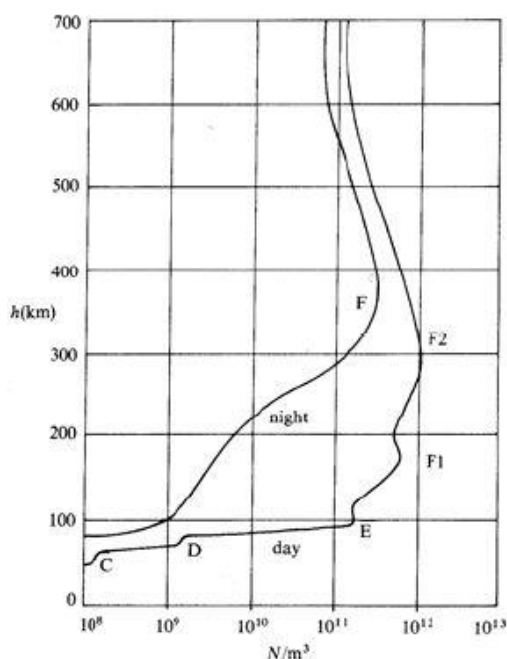


Imagen 13: Densidad de electrones por capa

encuentra entre 250km y 500km sobre la superficie de la tierra.

La capa F2 es la principal región reflectora para las comunicaciones de larga distancia en HF (3-30 MHz). Debido a su extremadamente baja densidad de aire, el medio puede mantener electrones libres aun durante la noche.

En la *imagen 13* podemos ver la variación de la densidad de los electrones por capas, durante el día y la noche en función de la altura a la que nos encontremos.

3.3. ACTIVIDAD SOLAR

Como vemos, la radiación solar es el principal agente causante de la ionización en la atmosfera. El sol genera grandes cantidades de energía electromagnética. Las manchas solares, las protuberancias, los destellos y las llamaradas solares son fenómenos que afectan a la ionosfera.

El sol, al igual que la tierra está formado por diferentes capas. Una de ellas, la más externa, se llama corona. Las partículas que hay en esta capa forman filamentos a lo largo de las líneas de campo magnético que se extienden a lo largo del espacio y se conoce como viento solar. El viento solar transporta partículas a una velocidad de 400 km/s y cuando alcanza al campo magnético de la tierra, éste captura sus partículas y las hace interactuar con las de la atmosfera.

Una de las principales fuentes de radiación solar son las manchas solares y generalmente de ven por grupos. El ciclo de las manchas solares está determinado como 11 años aproximadamente. El número de manchas solares, afecta a la propagación ionosférica por lo que se hacen estimaciones de la cantidad de manchas que hay en cada momento o ciclo.

Para ello, se cuenta con el número de Wolf:

$$R = k (10g + s)$$

Donde k es una constante normalmente inferior a 1 que depende de las condiciones de observación y tipo de telescopio utilizado, g es el número de grupos y s es el número de manchas individuales. Se puede consultar dicho número diariamente en el *Sunspots Index Data Center* situado en Bruselas (<http://sidc.oma.be/>).



Imagen 14: Vista del sol

4. CAPTACIÓN VLF

No se puede captar de cualquier manera frecuencias VLF. Primero, se debe contar con el equipo adecuado y a continuación con la localización adecuada. En referencia a la localización, en función de donde nos situemos, además de las señales que queremos, nos

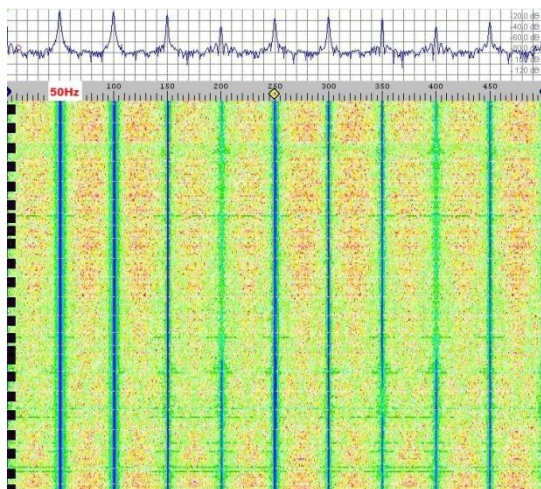


Imagen 15: 50Hz y sus armónicos

entrarán diferentes señales que interferirán con la nuestra. Por ejemplo en una ciudad, si no contamos con un sistema de filtro adecuado, es más que probable que recibamos la señal de los 50Hz además de mucho ruido. En la *Imagen 15*, podemos ver lo que recibe el receptor en ciudad. Tenemos una línea vertical muy marcada en 50 Hz y sus armónicos.

Para solucionar este problema tenemos dos soluciones. La primera es, como hemos dicho, disponer de un sistema de filtrado adecuado y la segunda es alejarse de esas señales. Cuando salimos de la ciudad tenemos que tener muy

en cuenta también que podemos encontrarnos con líneas de alta tensión que pueden interferir en nuestra señal. Por lo tanto, se recomienda estar a una distancia mínima de 500m. Los parques grandes y las reservas naturales son los mejores y más silenciosos sitios en los que poder instalar nuestro sistema.

4.1. LOCALIZACIÓN

La antena, la he colocado en distintos puntos de la geografía navarra, obteniendo diferentes resultados.

En un principio probé desde Pamplona, desde un balcón en el barrio de la Txantrea. El resultado obtenido se puede ver en la imagen anterior, donde prácticamente recibía la señal de red, sus armónicos y mucho ruido. Además, la antena la coloqué a media mañana, cuando la recepción de señales naturales de VLF suele ser bastante nula. Las mejores horas para recibir ondas electromagnéticas naturales de muy baja frecuencia, son las horas de antes y después del amanecer y el anochecer.

A continuación expondré los diferentes lugares en los que he colocado la antena:

- **Merendero de Ardanaz**

El merendero de Ardanaz se encuentra en la carretera NA-231, que conecta Pamplona con el pueblo de Aranguren. La antena fue colocada el día 24 de enero del 2012 alrededor de las 12 del mediodía. En la *imagen 16*, podemos ver las coordenadas del lugar. Elegí este sitio por su cercanía con Pamplona, lugar donde resido.



Imagen 16: Localización del merendero de Ardanaz

- **Foz de Arbayún**

La foz de Arbayún se encuentra entre las localidades de Lumbier y Navascués. Se puede acceder al mirador por la carretera NA-178 que va desde Lumbier y desviarnos a la foz por la carretera NA-2160. He colocado dos veces la antena en este lugar. Las dos veces a partir de una hora antes del anochecer. La primera vez, el día 18 de febrero de 2012 y la segunda vez, el día 5 de septiembre del mismo año. Elegí este lugar porque la foz de Arbayún esta denominada como reserva natural y zona de especial de protección de las aves de manera que no hay líneas de alta tensión cerca.



Imagen 17: Localización de la foz de Arbayún

- **Alto de Igal**

El alto de Igal se encuentra en el valle de Roncal, entre las localidades de Igal y Vidángoz en la carretera NA-2130. En el alto, puedes dejar el coche y subir por un camino en el monte de manera que puedas colocar la antena mejor. La antena fue colocada poco antes del amanecer el día 27 de julio de 2012. Elegí este sitio por estar alejado de líneas de alta tensión.



Imagen 18: Localización del alto de Igal

- **Palpate (Pirineos)**

Palpate, conocido así por la gente del valle de Roncal, se encuentra al norte de Vidángoz y al oeste de Isaba y Uztárroz. Se accede a este lugar siguiendo una pista que empieza en el pueblo de Vidángoz. La antena fue colocada el día 11 de septiembre de 2012 al anochecer y al amanecer del día siguiente.



Imagen 19: Localización de Palpate

5. ELEMENTOS DEL RECEPTOR

5.1. ANTENA

La antena es un dispositivo que sirve para transmitir o recibir ondas de radio. Están formadas generalmente por elementos metálicos con una geometría especial en función de su frecuencia de operación.

Las antenas son elementos omnipresentes en la vida cotidiana para transmitir y recibir señales de radiodifusión sonora y televisión, bien sea de sistemas radioeléctricos terrestres, de satélite, microondas o cable. En telefonía móvil, sistemas de apertura y cierre de puertas o de identificación en almacenes y carreteras, incluso en los ratones y teclados inalámbricos de los ordenadores, podemos encontrar antenas. Son, por consecuencia, indispensables en múltiples aplicaciones de nuestra vida diaria.

5.1.1. PRINCIPIO DE RECIPROCIDAD

Este principio establece que el comportamiento de una antena en transmisión es el mismo que el de una antena en recepción. Una antena que transmita su máxima energía en una dirección, también recibirá máxima energía en esa dirección.

5.1.2. ANTENA ISOTRÓPICA

Se define como antena isotrópica, a un punto emisor de ondas electromagnéticas que radia uniformemente en todas direcciones, de manera que la energía se distribuye uniformemente en forma esférica en el espacio. La antena isotrópica, es un radiador ideal que no existe en la práctica, pero cuyo concepto es de gran utilidad para analizar el comportamiento de antenas reales, cuyas características suelen expresarse en relación a la antena isotrópica como antena patrón.

5.1.3. CARACTERÍSTICAS

Entre las principales características podemos encontrar:

- **Ganancia de la antena:** La ganancia de la antena es el cociente entre la cantidad de energía radiada en su dirección de máxima emisión, respecto a una antena isotrópica. Se expresa en decibelios con referencia isotrópica (dBi).
- **Diagrama de radiación:** El diagrama de radiación es una gráfica que puede ser tridimensional o bidimensional y en la que podemos ver en función del ángulo espacial, la potencia de la señal transmitida. En el caso ideal de una antena isotrópica, su diagrama de radiación tridimensional será una esfera. Mediante este diagrama, podemos ver donde encontramos puntos nulos de emisión y recepción, el lóbulo principal, los secundarios y los traseros. Los diseñadores tratan de evitar estos problemas mediante la transformación de la geometría de la antena.

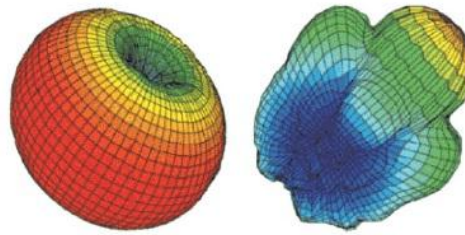


Imagen 20: Diagrama de radiación

- **Ancho de haz:** El ángulo entre los dos puntos en los que la potencia se ha reducido a la mitad se denomina ancho de haz. Existe una gran relación entre la ganancia y la extensión de la cobertura. A mayor ganancia, menor anchura de haz tendremos.

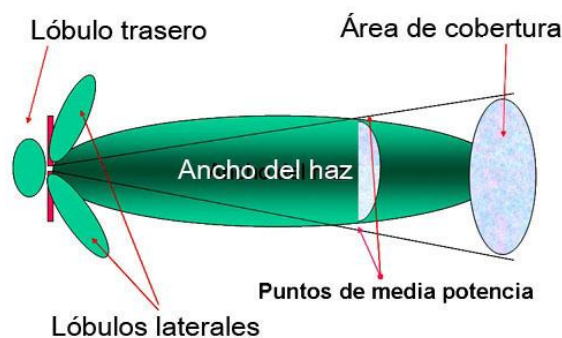


Imagen 21

- **Impedancia de entrada:** Es el cociente entre el voltaje aplicado a los terminales de entrada y la corriente resultante. Generalmente contiene una parte resistiva y una parte reactiva. Excepto para las antenas más simples, el procedimiento para calcular la impedancia suele resultar bastante complejo y en la práctica los valores de impedancia obtenidos analíticamente para antenas relativamente simples, se utilizan como referencia en el diseño. El procedimiento para obtener el valor de impedancia deseado es uno de prueba y error, midiendo la impedancia y ajustando las dimensiones de la antena hasta obtener el valor más cercano posible al deseado.

- **Polarización:** La polarización de una onda electromagnética, se define como la orientación del vector del campo eléctrico. Como sabemos, el campo eléctrico y el campo magnético de una onda electromagnética son perpendiculares entre sí en todo momento y a su vez perpendiculares a la dirección de propagación. La polarización se describe, como el lugar geométrico trazado por el vector del campo eléctrico en un plano estacionario

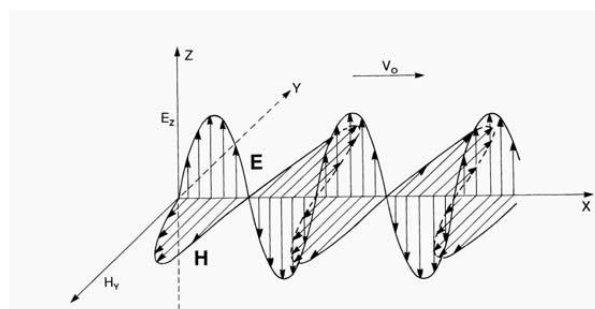


Imagen 22

perpendicular a la dirección de propagación, cuando la onda atraviesa ese plano. El vector del campo en ese plano puede descomponerse en dos componentes ortogonales cuya amplitud puede ser variable en el tiempo y en el espacio. En la *imagen 22* la onda está polarizada verticalmente.

Si imaginamos que las dos componentes del campo eléctrico tienen amplitudes variables y se suponen girando en el plano transversal a la dirección de propagación, el lugar geométrico trazado será una elipse. Generalmente la polarización elíptica suele darse con más frecuencia que la polarización lineal. Otro caso es la polarización circular, que ocurre cuando las componentes del campo eléctrico tienen la misma amplitud, pero están desfasadas 90° . En la siguiente imagen se pueden ver diferentes formas de polarización para diferentes relaciones entre las componentes del campo eléctrico y distintas fases entre ellas.

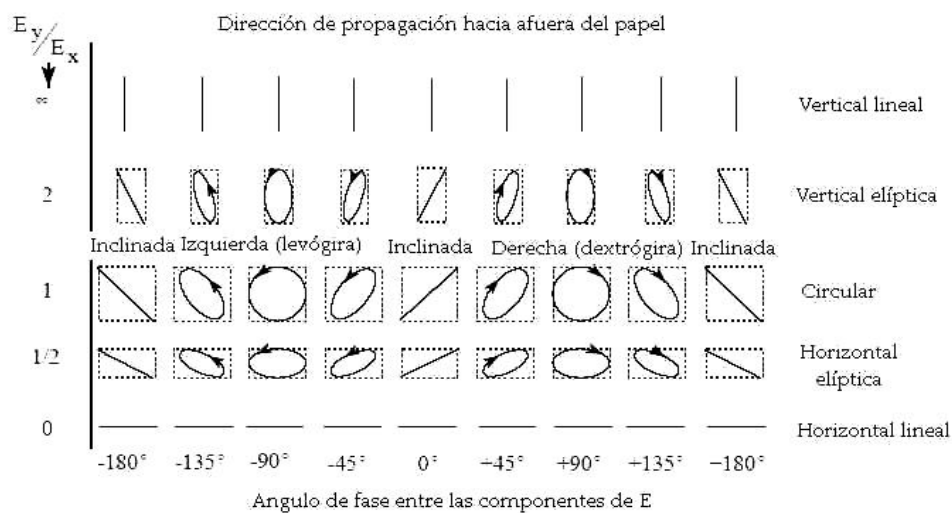


Imagen 23: Polarización

- Existen otras características entre las cuales se encuentran, el cociente entre la ganancia del lóbulo principal y el lóbulo trasero, el ancho de banda o la pérdida de retorno.

5.1.4. TIPOS DE ANTENA

Una clasificación de los diferentes tipos de antena puede basarse en:

- Frecuencia y tamaño.
- Directividad.
- Construcción física.
- Tipo de aplicación.

Cada antena, está pensada para un uso concreto, de manera que podemos encontrar antenas de muy distinta geometría y tamaño.

Entre los diferentes tipos de antena encontramos estos como los más significativos:

- **Dipolo de media onda:** Es una de las antenas más ampliamente utilizadas en frecuencias a partir de 2MHz. Este tipo de antena, también suele emplearse como antena de referencia en lugar de la antena isotrópica.



Imagen 24: Dipolo de $\frac{1}{2}$ onda

- **Dipolo doblado:** El dipolo doblado, está constituido por un dipolo simple y otro conductor de la misma longitud que el dipolo, conectados por los extremos. Por lo general, el dipolo doblado se construye de una sola pieza de varilla o tubo de cobre o aluminio. Tiene un ancho de banda mayor que el dipolo simple.



Imagen 25: Dipolo doblado

- **Antena Yagi-Uda:** Se utiliza extensamente en los sistemas de comunicaciones en las bandas HF, VHF y UHF. La antena Yagi, consiste en un elemento excitado que suele ser un dipolo o un dipolo doblado, un reflector y varios elementos parásitos o directores, situados frente al elemento excitado.

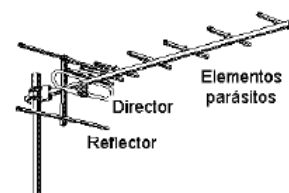


Imagen 26: Antena Yagi-Uda

- **Log-Periódica (LPDA):** Se emplea para televisión en banda VHF y para radio en FM (desde 87,5 hasta 108,0 MHz).



Imagen 27: Antena log-periódica

- **Antena de lazo o LOOP:** Las antenas de lazo o de espira, consisten en una o varias espiras circulares o cuadradas. Este tipo de antena, se usa extensamente desde frecuencias del orden de 10 MHz hasta varios GHz. El tipo más frecuentemente empleado es el de espira circular, aunque también se usan las cuadradas y rectangulares.



Imagen 28: Antena de lazo

- **Reflector parabólico:** Las antenas con reflector parabólico se utilizan en sistemas de comunicaciones a frecuencias de la parte alta de banda UHF y en las bandas de SHF y EHF. Su plato, es lo más característico de ellas. En él, se recogen las ondas que llegan y son reflejadas convergiendo todas al centro donde se encuentra el foco que recibe la suma de ellas.



Imagen 29: Reflector parabólico

- **Antena plana o PATCH:** Este tipo de antenas son cada vez más útiles porque se pueden imprimir directamente sobre una placa de circuito. Se utilizan mucho en el mercado de la telefonía móvil.



Imagen 30: Antena plana

- **Antena helicoidal:** Es una antena con forma de solenoide. Se emplean en las radio tipo walkie-talkie.

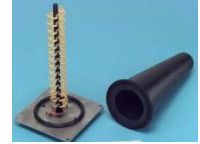


Imagen 31: Antena helicoidal

- **Antena ranurada:** Se utilizan normalmente en las frecuencias entre 300 MHz y 24 GHz.



Imagen 32: Antena ranurada

- **Antena monopolo:** La antena monopolo será la que utilizaremos para la realización del proyecto.

5.1.5. ANTENA MONOPOLO

La antena monopolo, también llamada Marconi en honor a su inventor, la utilizaremos como receptor porque nuestra antena transmisora será el rayo, la aurora boreal o cualquier fenómeno atmosférico.

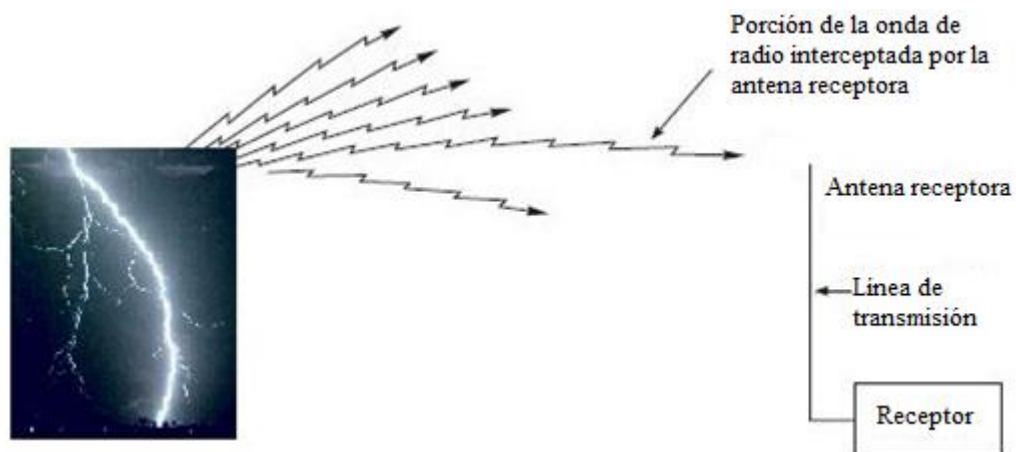


Imagen 33

Un cable como los que se usan para instalaciones domésticas, nos sirve como antena monopolo. Como un cable carece de rigidez, lo que haremos será un soporte con el que sujetaremos nuestro cable.

Para hacer el soporte, utilizaremos tres tubos de PVC de diferente diámetro, de modo que podremos tener un soporte telescópico.

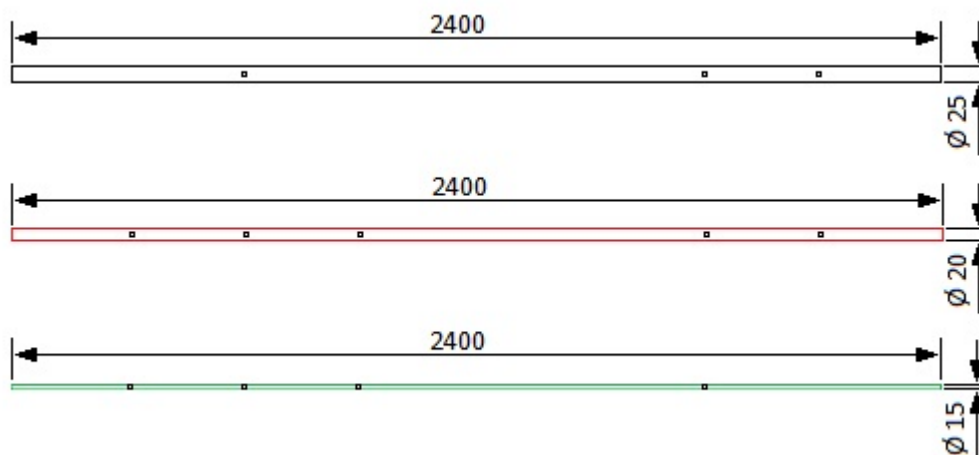


Imagen 34: Dimensiones de los tubos de PVC

Cada tubo mide 2´4m y tienen un diámetro de 25mm, 20mm y 15mm como podemos ver en la *imagen 34*. Al hacerle diferentes agujeros, podemos extenderlo hasta alcanzar una altura de hasta 6m. Para unir las diferentes partes del soporte, utilizaremos tornillos de 5mm de diámetro.



Imagen 35: Soporte telescópico

Para poder fijarlo al suelo, clavaremos una pica de acero inoxidable como la de la *imagen 36*, de 1´27m de los cuales unos 62cm estarán enterrados. Su diámetro será de 20mm y dispondrá de dos agujeros. Clavaremos la pica ayudados de un tocón de madera y un martillo para no abollar la parte superior de la pica para que así, encaje perfectamente en nuestro soporte de PVC. Al dotar a la vara metálica con dos agujeros, podremos sujetar mejor el soporte telescópico, ya que al conseguir tanta altura, este podría balancearse mucho e incluso romperse a pesar de la flexibilidad del material.



Imagen 36: Pica de acero inoxidable

El cable, que será realmente lo que nos haga de antena. Lo uniremos a la estructura de plástico con cinta aislante. El cable tiene 10m de largo y 3mm diámetro.

CARACTERISTICAS DE LA ANTENA MONOPOLO

Una antena monopolo, es la mitad de una antena dipolo, por lo que las características de ambas van a ir muy unidas.

La antena monopolo de longitud de onda $\lambda/4$ tiene una impedancia de aproximadamente 36 ohmios, la mitad de lo que tendría una antena dipolo. La polarización depende del campo eléctrico de la onda electromagnética. Mediante el soporte, que lo colocaremos en posición vertical, trataremos de emular una antena vertical.

El diagrama de radiación de una antena monopolo de una de longitud de onda $\lambda/4$ verticalmente polarizada, es el que podemos ver en la *imagen 37*.

Visto desde arriba, parece el diagrama de radiación de una antena isotrópica pero no es así, como se puede ver en la vista frontal.

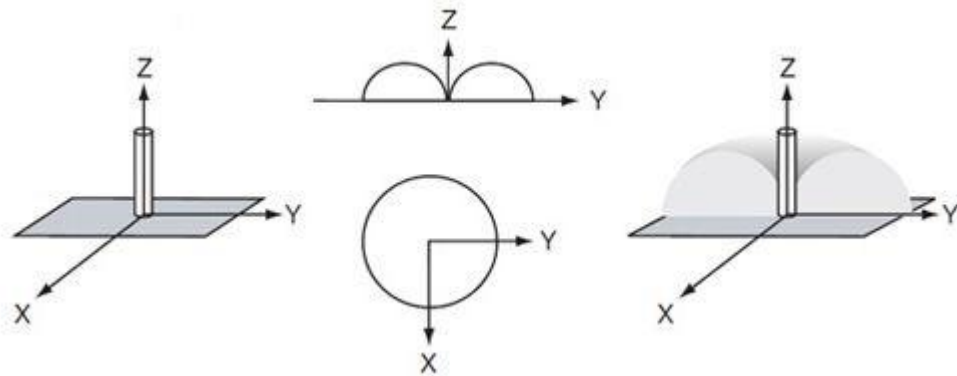


Imagen 37: Diagrama de radiación para una antena monopolo $\lambda/4$

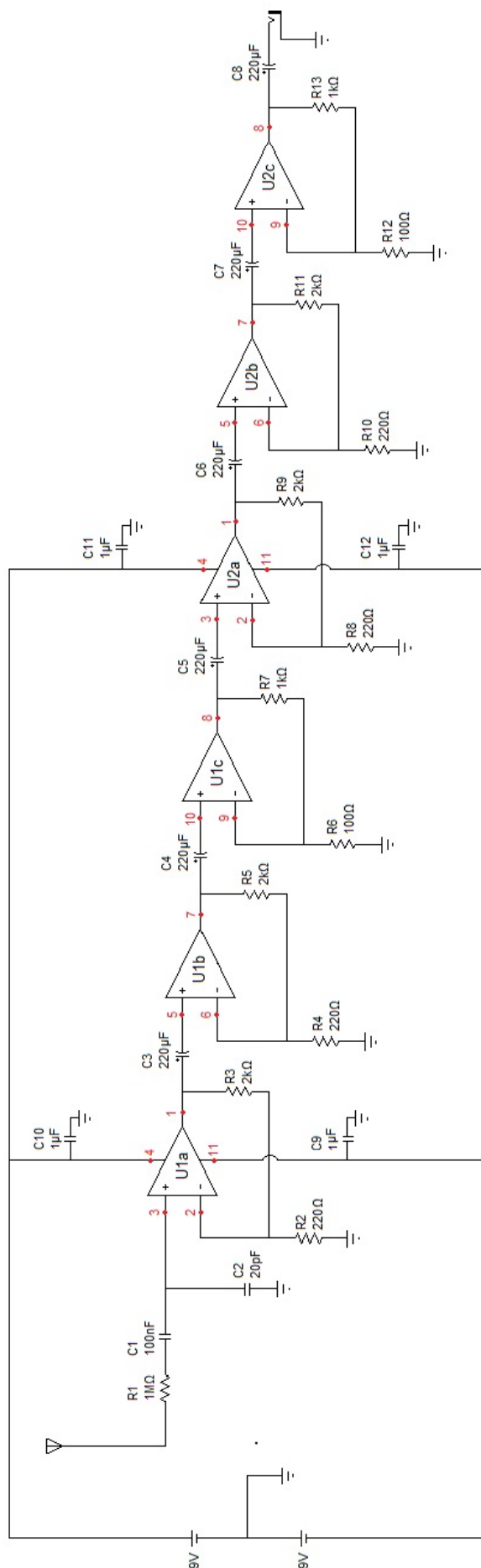
5.2. CIRCUITO


La antena está conectada a un circuito. La función de dicho circuito es filtrar la señal, porque no queremos recibir todas las señales de VLF, y posteriormente amplificar la señal para poder ser analizada después en el ordenador.

El material empleado para el circuito es:

- Resistencias:
 - R1: $1\text{M}\Omega$
 - R2, R4, R8 y R10: 220Ω
 - R3, R5, R9 y R11: $2\text{k}\Omega$
 - R6 y R12: 100Ω
 - R7 y R13: $1\text{k}\Omega$
- Condensadores:
 - Cerámicos:
 - C1: 100nF
 - C2: 20pF
 - C9, C10, C11 y C12: $1\mu\text{F}$
 - Electrolíticos:
 - C3, C4, C5, C6, C7 y C8: $220\mu\text{F}$
- Amplificadores operacionales: 2xTL084
- Fuentes de tensión: 2 pilas de 9V cada una
- Conector Jack estéreo de 3,5mm
- Dos placas ariston para hacer las conexiones

A continuación se puede ver el plano del circuito eléctrico del receptor de emisiones electromagnéticas de fenómenos naturales con sus correspondientes conexiones.

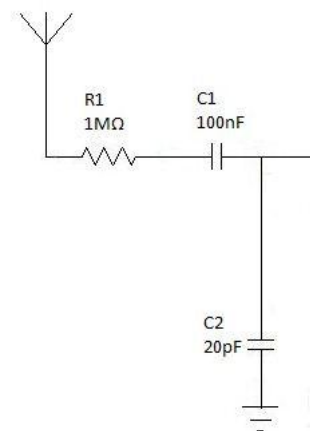


 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitatea	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL E.	
PROYECTO: RECEPTOR DE EMISIONES ELECTROMAGNETICAS DE FENOMENOS NATURALES		
REALIZADO: SANZ LLAMAS, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: CIRCUITO ELECTRICO DEL RECEPTOR		Nº PLANO: 1

La resistencia R1 y los condensadores C1 y C2 se comportan como un filtro paso bajo.

La antena puede recibir todo tipo de señales que no queremos por lo que es importante la función de este filtro. Dentro de las señales VLF encontramos distintas emisiones además de las naturales, que son las que nos interesan y nos ocupan en este proyecto.

Dentro de la banda de frecuencias VLF encontramos unas señales denominadas ALPHA y OMEGA. La primera es un sistema de radio navegación ruso. El sistema ALPHA consiste en tres transmisores que operan en las frecuencias 11,905kHz, 12,649kHz y 14,881kHz. La segunda señal es un sistema de radio navegación estadounidense. Al igual que las estaciones rusas, cada estación OMEGA emite tres señales pero en este caso en las frecuencias 10,2kHz, 13,6kHz y 11,333kHz.



Los diagramas de bode y fase del filtro son los siguientes:

Imagen 38: Filtro paso bajo

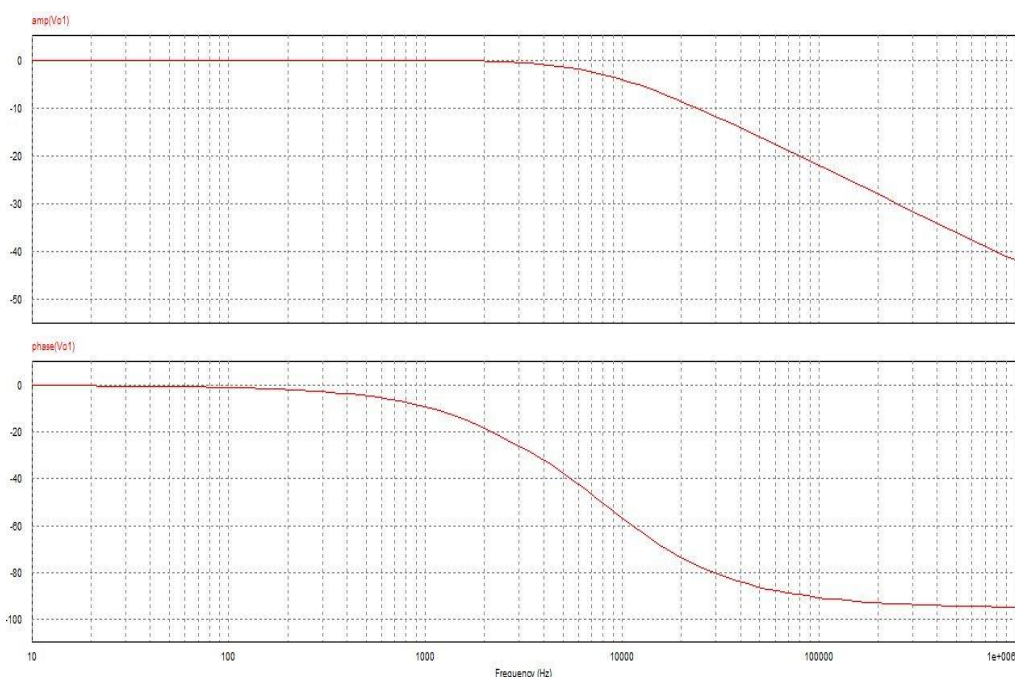


Imagen 39: Diagramas de Bode y fase del filtro paso bajo

Si ampliamos el diagrama de bode (*imagen 40*), vemos que la frecuencia que le corresponde a los -3dB, es decir, la frecuencia de corte del filtro, es aproximadamente 8kHz.

Por lo tanto, el filtro es válido para evitar las señales de navegación y poder recibir las emisiones electromagnéticas naturales con menos ruido.

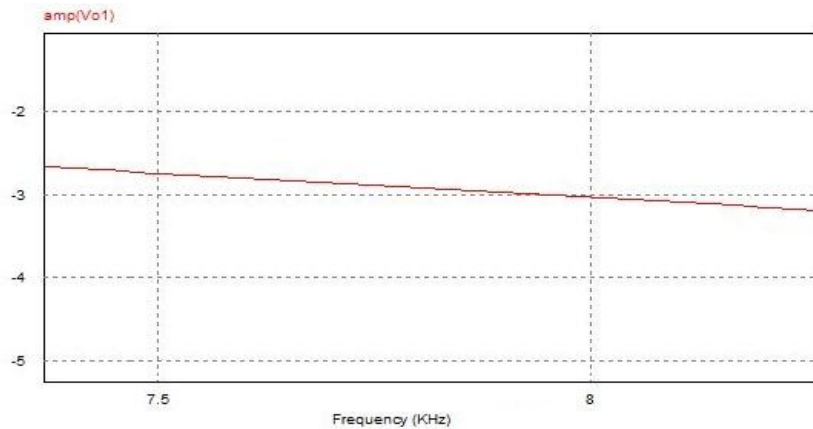


Imagen 40: Ampliación del diagrama de Bode en -3dB

Una vez que tenemos el filtro, esa señal hay que amplificarla para poder analizarla en el ordenador. Para ello, disponemos de amplificadores operacionales no inversores. Si observamos el circuito vemos que hay seis amplificadores. La ganancia viene dada por una relación entre sus resistencias quedando de la siguiente manera:

- Amplificador U1a:

$$A_1 = 1 + \frac{R_3}{R_2} = 1 + \frac{2000}{220} = 10,09$$

- Amplificador U1b:

$$A_2 = 1 + \frac{R_5}{R_4} = 1 + \frac{2000}{220} = 10,09$$

- Amplificador U1c:

$$A_3 = 1 + \frac{R_7}{R_6} = 1 + \frac{1000}{100} = 11$$

- Amplificador U2a:

$$A_4 = 1 + \frac{R_9}{R_8} = 1 + \frac{2000}{220} = 10,09$$

- Amplificador U2b:

$$A_5 = 1 + \frac{R_{11}}{R_{10}} = 1 + \frac{2000}{220} = 10,09$$

- Amplificador U2c:

$$A_6 = 1 + \frac{R_{13}}{R_{12}} = 1 + \frac{1000}{100} = 11$$

La ganancia total quedara:

$$A_T = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 = 1.254.151,6$$

Por lo tanto, la señal a la salida del amplificador U2c será 1,25 millones más grande que a la entrada del amplificador U1a. Esta ganancia es suficiente como para poder analizar la señal en el ordenador sin problemas.

Los amplificadores U1a, U1b y U1c van en un integrado tipo TL084 y los amplificadores U2a, U2b y U2c van en otro integrado tipo TL084. Como podemos ver, cada integrado es idéntico al otro.

El circuito integrado empleado ha sido de la marca Texas Instrument pero podríamos haber utilizado otro de iguales características y distinta marca comercial.



Imagen 41: TL084

Es muy importante conocer la disposición de las patillas del integrado, así como la muesca que aparece en uno de sus lados, pues cada patilla tiene una conexión concreta distinta a la de las otras patillas.

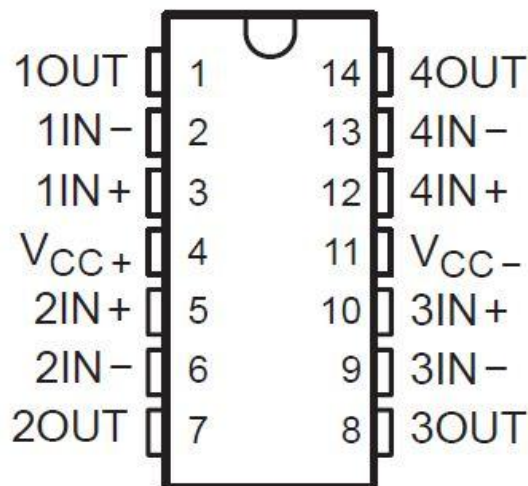


Imagen 42: Disposición patillas TL084

En el primer circuito integrado TL084, las patillas 1, 2 y 3 corresponden al amplificador U1a, las patillas 5, 6 y 7 corresponden al amplificador U1b y las patillas 8, 9 y 10 corresponden al amplificador U1c.

En el segundo circuito integrado TL084, las patillas 1, 2 y 3 corresponden al amplificador U2a, las patillas 5, 6 y 7 corresponden al amplificador U2b y las patillas 8, 9 y 10 corresponden al amplificador U2c.

Las patillas 4 y 11 son las patillas correspondientes a la alimentación. Para alimentar nuestros integrados utilizaremos dos pilas de 9V cada una. El terminal Vcc+ corresponderá con la patilla 4 y el terminal Vcc- corresponderá con la patilla 11.

Entre la pila y la patilla 4 y 11 de cada TL084, colocamos un condensador de 1μF. La función de este condensador es desacoplar el circuito integrado de su fuente de alimentación.

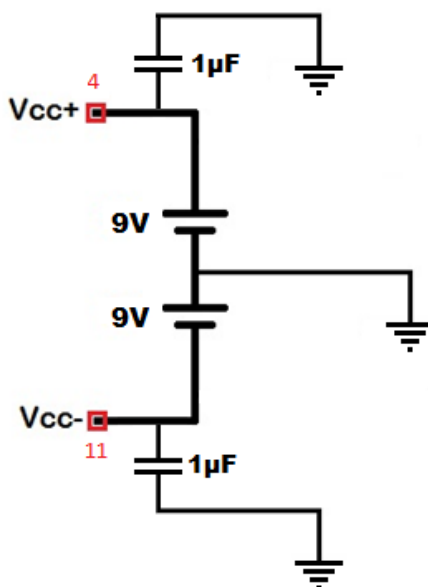


Imagen 43: Alimentación de los integrados

Para evitar las interferencias provenientes de la fuente de alimentación, se colocan estos condensadores. Se deben colocar lo más cercanos posible a la fuente de alimentación de cada patilla. Las fuentes de alimentación son de corriente continua, así que esta corriente entrará directamente al circuito ya que para ella un condensador es un circuito abierto. Si tenemos interferencias, al tener la rama de desacoplo menor impedancia que el circuito, la interferencia se irá a tierra directamente quedándonos una señal más limpia a la entrada del integrado.

Entre amplificador y amplificador, disponemos de unos condensadores electrolíticos de 220μF cada uno. La función de estos condensadores es evitar que la poca corriente continua que haya, se meta en el amplificador. Esta corriente continua, puede interferir en el funcionamiento del siguiente amplificador y por lo tanto esa señal debe ser bloqueada. Para evitar tener corriente continua, utilizamos el condensador que como hemos dicho previamente, se comporta como circuito abierto ante la corriente continua, dejando pasar solamente la alterna. Lo que ocurre ahora es que debemos elegir un valor para ese condensador de manera que tenga poca impedancia para los valores de frecuencia que nos interesan.

Los condensadores de 220μF se van a comportar prácticamente como cortocircuitos para frecuencias de 3kHz.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi 3000 \cdot 220 \cdot 10^{-6}} = 0,241\Omega$$

La reactancia capacitiva es muy baja para 3kHz así que la señal apenas notará variación. Para frecuencias mayores la reactancia será menor aún, porque cuanto más grande sea la frecuencia menos reactancia capacitiva tendremos.



Imagen 44: Conectores Jack

Una vez recibida la señal y amplificada, necesitamos registrarlo en un dispositivo. Para ello, utilizaremos un conector Jack.

El conector Jack, es un conector de audio utilizado en numerosos dispositivos para la transmisión de sonido en formato analógico.

Hay conectores Jack de varios diámetros: el de 6,35mm que se utiliza sobre todo en audio profesional e instrumentos musicales eléctricos, el de 3,5mm que se utiliza en dispositivos portátiles, como los mp3 o para la salida de auriculares y el de 2,5mm que se utiliza en dispositivos pequeños. El más utilizado, es el de 3,5mm y ese será el que utilizaremos.

Luego, tenemos los conectores Jack estéreo y los conectores Jack mono. En mi caso he utilizado un conector estéreo pero se podría hacer también con un conector mono. La única diferencia es que el estéreo tiene dos canales en lugar de uno.

El conector Jack, se divide en tres partes: cuerpo, aro y punta.

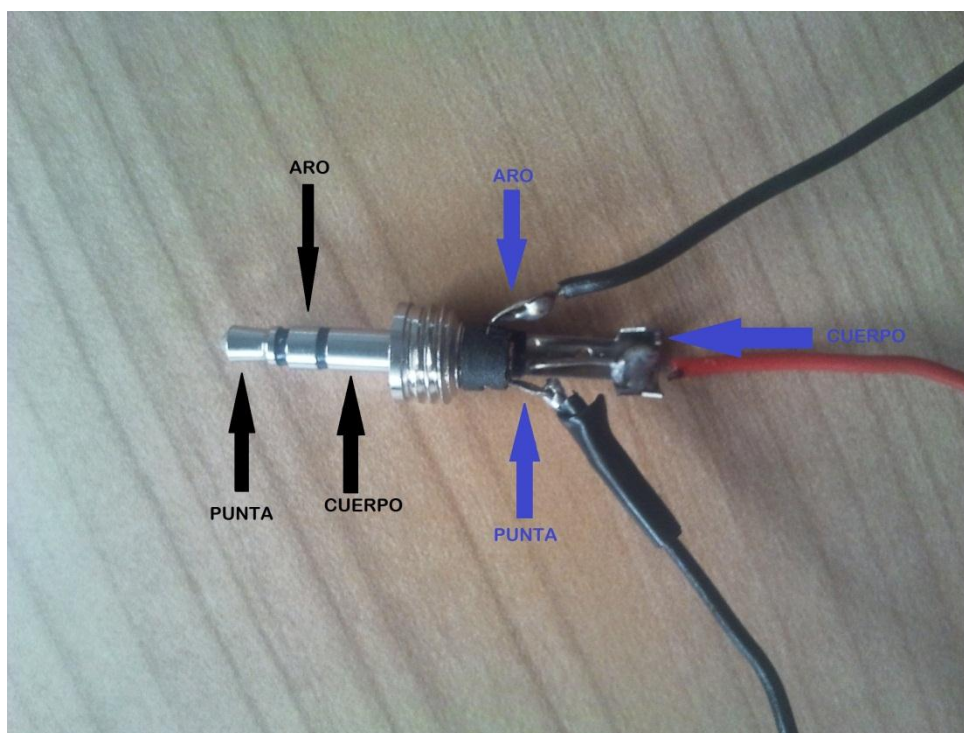


Imagen 45: Partes de un conector Jack estéreo de 3,5mm

Los anillos que separan la punta, el aro y el cuerpo se denominan anillos aislantes.

A cada parte le corresponde una patilla. Así que debemos soldar unos pequeños cables para poder conectarlo luego a nuestro circuito, como se puede ver en la *imagen 45*. Se puede verificar utilizando un voltímetro.

Ya están todas las partes del sistema descritas. En las imágenes *imagen 46* e *imagen 47* podemos ver cómo queda en la realidad el circuito eléctrico.

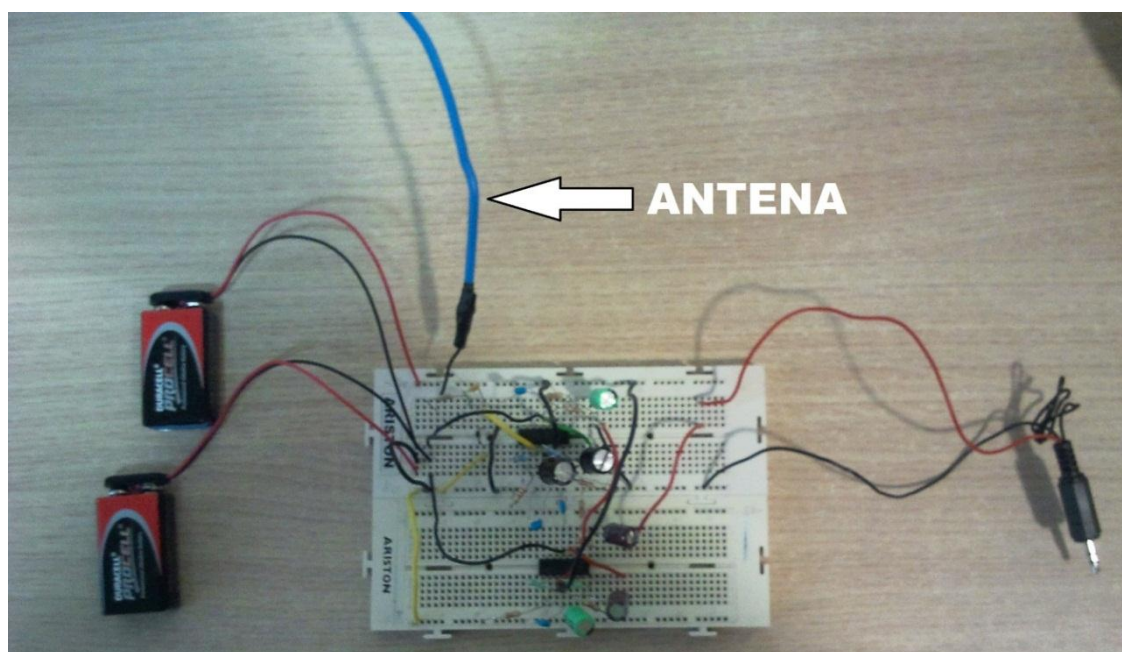


Imagen 46

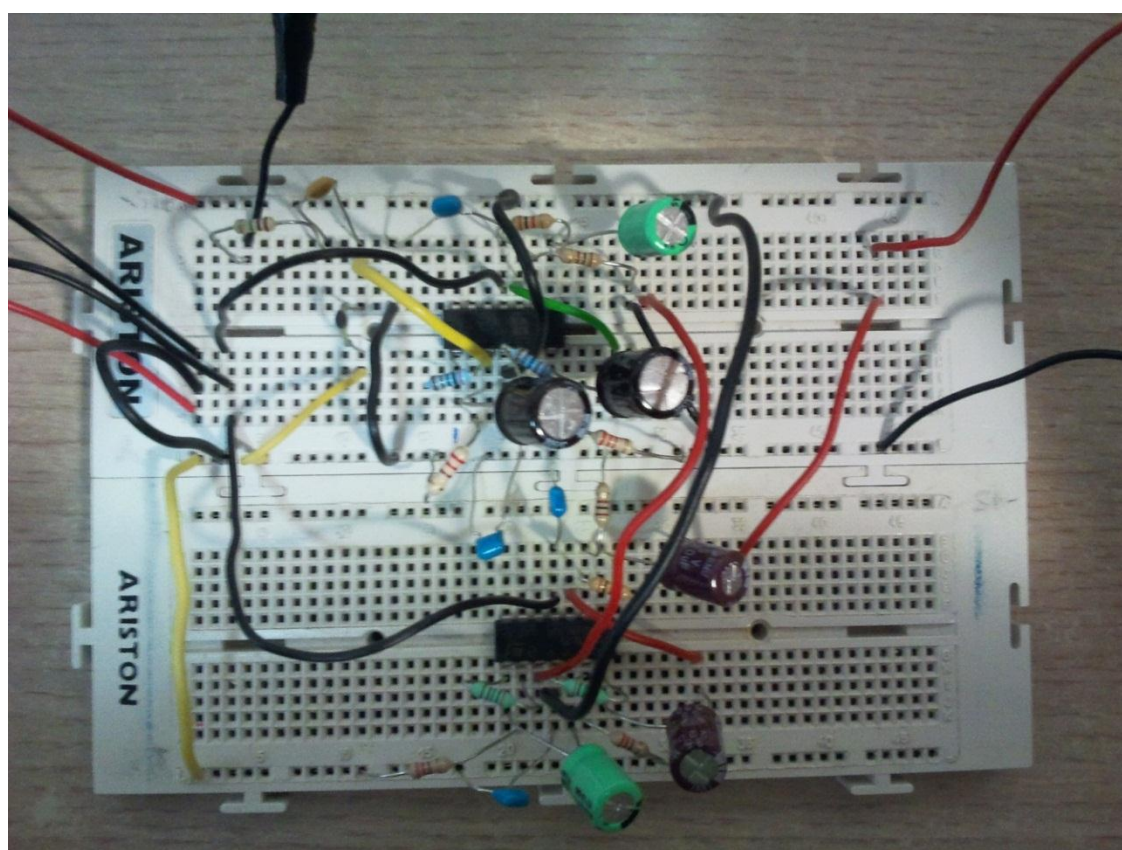


Imagen 47

6. ANÁLISIS

El dispositivo empleado para la grabación de la señal, es un ordenador portátil Toshiba con un procesador Intel Pentium dual core T2130 1,86GHz. Realmente, con cualquier tipo de ordenador portátil nos bastaría porque lo que necesitamos, es el grabador de sonidos de Windows. Con una grabadora también funcionaría perfectamente. En mi caso como bien he dicho, he utilizado un ordenador portátil. Conectamos el circuito a la entrada del ordenador, abrimos el grabador de sonidos de Windows y comenzamos la grabación. Una vez finalizada la grabación tendremos nuestro archivo en el formato WMA.

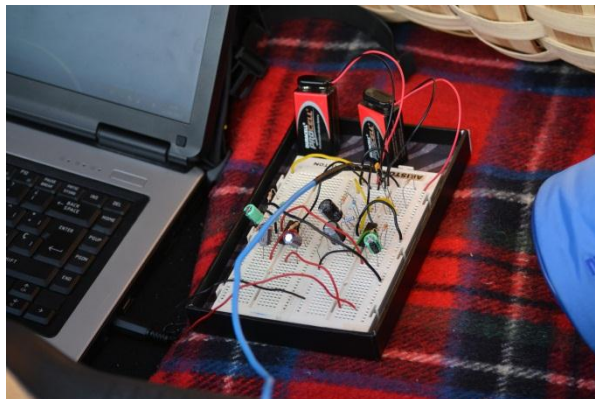


Imagen 50

6.1. SOFTWARE

Existen diferentes programas para analizar señales VLF. Para ciertos programas necesitaremos modificar el formato del archivo que tenemos, porque algunos programas no reconocen algunos formatos.

Los programas son:

- **Audacity:** Es un software libre, es decir, que los usuarios tienen la libertad de copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software. Este programa te permite extraer porciones de tus grabaciones y también procesarlas para eliminar ruido y así mejorar la señal. Este programa, tiene versiones que funcionan con Windows 98 o más recientes, con Macintosh y con Linux. Se puede adquirir de la página <http://audacity.sourceforge.net/>.
- **Spectrum Lab:** Es un programa que te permite analizar una señal de audio recibida al momento, por tu tarjeta de sonido, analizar el espectro de una grabación previa y observar cómo cambia el espectro de la señal en función del tiempo. Tiene interesantes y útiles funciones como la eliminación de los zumbidos que generan las señales de corriente alterna y sus armónicos o la eliminación de otras señales que el usuario elija. Este programa funciona con Windows 98, 2000, ME, XP (home and profesional), Linux/WINE y no funciona con Windows vista y posteriores. Puede ser descargado de la página <http://www.qsl.net/dl4yhf/spectral1.html>.
- **Spectran:** es un programa sencillo de interfaz simple. Este programa fue originariamente creado para señales débiles pero tiene aplicación para señales de radio naturales. Este programa dispone también de filtrado digital a tiempo real

de señales recogidas por la tarjeta de sonido o tomando como entrada un archivo con formato WAV. Se puede descargar el programa de la página <http://www.qsl.net/padan/spectran.html>.

- **Spectrogram:** Este programa es un analizador de espectro con dos canales que funciona con Windows 95 y posteriores, de fácil utilización y sencillo interfaz. Al igual que los anteriores puede analizar señales directamente desde la tarjeta de sonido o mediante archivos de formato WAV.

El programa utilizado por mí, es Spectrum Lab. Debido a que no dispongo de Windows XP en el ordenador portátil, he utilizado un ordenador de sobremesa que sí lo contiene.

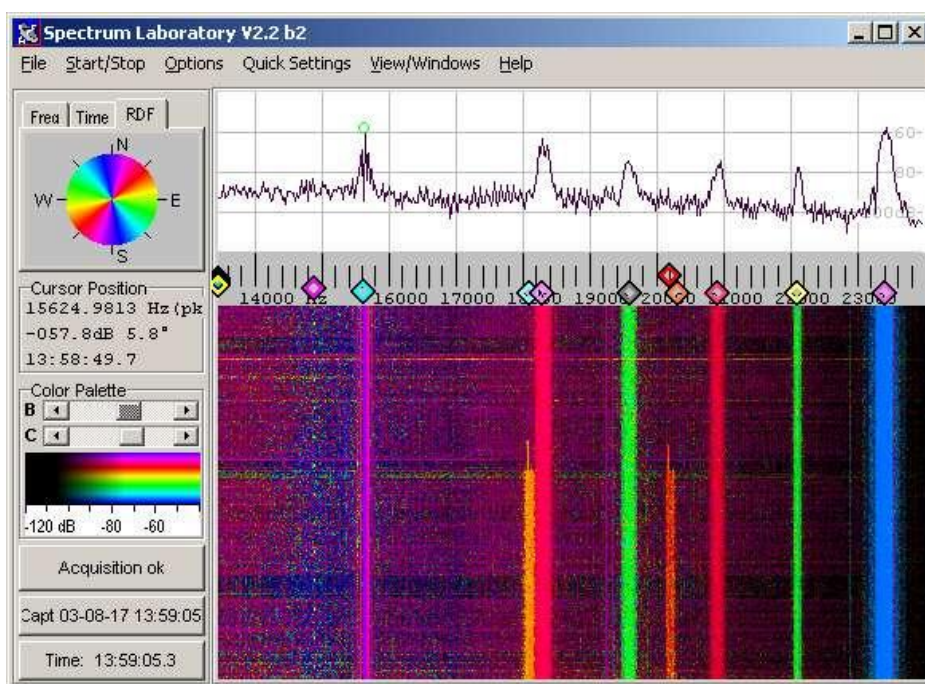


Imagen 51: Spectrum lab

6.2. CONFIGURACIÓN SOFTWARE SPECTRUM LAB

El programa Spectrum Lab tiene las opciones de reconocer formatos de audio WAV y MP3, pero hay que hacer algunos pasos para activar esas opciones de alguna manera.

El archivo se guarda como archivo Windows media, así que con un conversor transformamos el archivo WMA en MP3. Yo he utilizado el programa “free WMA to MP3 converter”. Es un programa muy sencillo.

Agregamos el archivo que queremos transformar haciendo clic en la pantalla superior y seleccionando el archivo. Una vez que lo tenemos, clicamos en “Start” y el nuevo archivo en formato MP3 se

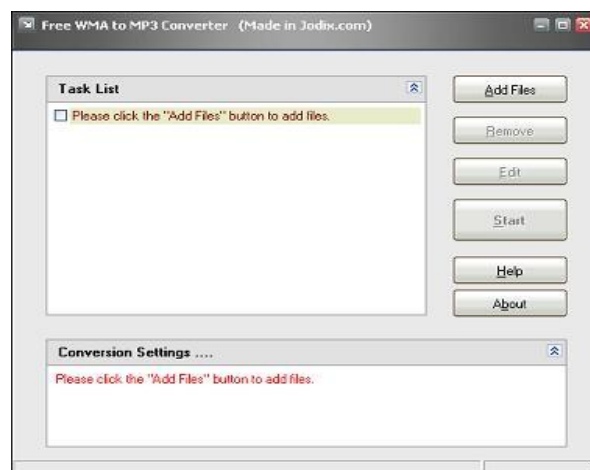


Imagen 52: Conversor de WMA a MP3

guardará en el mismo lugar donde esté el archivo original.

Si el archivo es demasiado grande, se puede cortar en archivos más pequeños usando otro programa llamado “megamp3splitter”. En la esquina superior derecha del programa tenemos un botón en el que si clicamos, abrimos nuestro archivo MP3. Reproducimos el audio dándole al play y clicando en el símbolo de la tijera, cortamos donde queramos.

Una vez que tenemos todos los trozos definidos, abajo a la derecha en el símbolo de guardar, clicamos y los diferentes trozos se guardarán en la carpeta en la que se encuentre nuestro archivo original.



Imagen 53: Programa para cortar archivos MP3

Para transformar todas esas particiones al formato WAV, utilizaremos el programa Audacity, previamente nombrado. Una vez abierto el archivo, podemos exportarlo, es decir, guardarlo en su carpeta de origen como formato WAV sin alterar el original. Para ello simplemente clicamos en archivo/exportar como WAV. Si hacemos eso con todos los archivos de MP3 que tenemos, tendremos cada trozo de la grabación perfectamente habilitado para utilizarlo con cualquier programa de los anteriormente descritos.

Para poder utilizar archivos MP3 y WAV con el programa Spectrum Lab, es necesario configurar el programa. A continuación se expondrán los pasos a seguir:

- Instalar la versión, Winamp 2.90.
- Copiar los archivos “in_mp3.dll” y “in_wave.dll” de la carpeta C:\Archivos de programa\Winamp\Plugins a la carpeta C:\Spectrum\winamp\Plugins que estará vacía.
- Abrir Spectrum Lab.
- En el menú principal, seleccionar Options/System settings/ Winamp plugins.
- En la ventana emergente que nos aparecerá, deberíamos ver los dos archivos que hemos copiado anteriormente de una carpeta a otra.

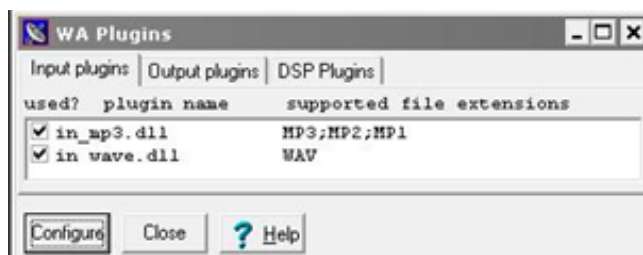


Imagen 54: Configuración plugins

- Clicamos en los cuadrados blancos para activar las opciones y cerramos la ventana.

Si todo ha ido bien, tenemos el programa Spectrum Lab correctamente configurado para poder analizar las señales en formato MP3 y WAV.

Además de esto, para poder sacarle más partido aun al sistema, se recomienda hacer los siguientes ajustes también.

- **Ajustar las opciones de audio:** En Options/Audio settings, I/O Device selection, ajustar “sample rate” en 48kHz y “Input Sample Rate Divisor” en 1.
- **Fijar las propiedades de FFT:** La FFT, transformada rápida de Fourier, es un algoritmo que permite calcular la transformada de Fourier discreta (DFT) y su inversa. La FFT tiene gran importancia en una amplia variedad de aplicaciones como pueden ser el procesamiento digital de señales. En Options/FFT settings, ajustar “FFT output/unit” en dBFS. Las escalas lineales V y W son a veces mejores para detectar señales muy débiles. Además de esto, en “FFT Input (same for all channels/type)” seleccionar la opción “Real FFT, starting at 0Hz”.
- **Display control:** en Options/Spectrum display setting/... part 2: Ampl-Range, Freq.-Axis, etc, fijar el rango de amplitud (Amplitude Range & Spectrogram Options) entre -130 y -60.

Aparte de esto, tenemos unas configuraciones específicas para los sonidos naturales. Seleccionaremos para ello, Quick Settings/Natural radio; animal voices/ Sferics, Tweeks, Whistlers with filtered audio output.

Cuando tenemos el programa configurado se puede empezar con el análisis. Clicamos en File/Audio Files/Analyse and play file (with DSP). Elegimos el archivo que queremos reproducir y a continuación, nos aparecerá una ventana emergente como la que podemos ver aquí. Ajustamos los parámetros que deseemos como por ejemplo, la velocidad de reproducción o también si queremos que se reproduzca una y otra vez como si estuviese en un bucle. La velocidad se puede cambiar en la opción de speed, en la cual encontramos las opciones de lento con desplazamiento suave, medio con desplazamiento rápido y rápido. Para activar la opción de que se reproduzca sin parar, la opción “play/analyze in an endless loop” tiene que estar seleccionada. Si modificamos los parámetros de análisis del archivo (esquina superior derecha) cambiamos la resolución del espectro. Cuando el número de puntos FFT aumenta, la resolución del espectro también aumenta.

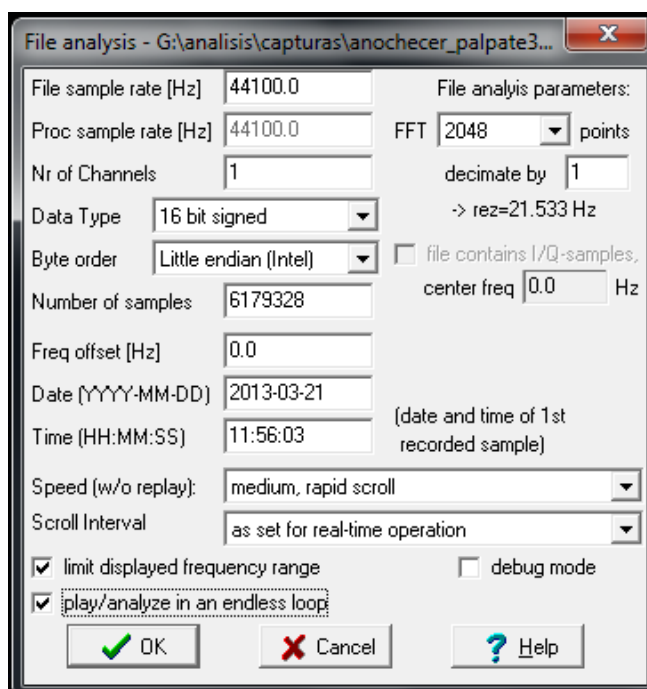


Imagen 55: Ventana para configurar la reproducción

Los colores del espectro, se pueden modificar si se desea mediante la paleta de colores. En el menú de la izquierda, aparece un recuadro que hace referencia a dicha paleta con dos opciones ajustables, que son el brillo y el contraste. Además, si clicamos encima de la barra de color, aparecerán distintas combinaciones para elegir la que cada uno quiera. Hay que tener en cuenta que un lado de la barra hace referencia a señales débiles y el otro lado hace referencia a señales más potentes.

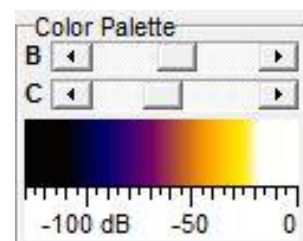


Imagen 56: Paleta de color

6.3. ANÁLISIS DE LAS SEÑALES

Ya conocemos las localizaciones concretas de donde la antena ha sido colocada. Como es lógico, en cada una de ellas los resultados han sido diferentes ya sea por la cantidad de señales obtenidas, la frecuencia con la que se han repetido las señales o por la intensidad de cada una de ellas.

Por ejemplo, las grabaciones realizadas en el merendero de Ardanaz, en las inmediaciones de Pamplona, han sido nefastas. Bien podría ser, porque la hora no era la más indicada ya que la grabación fue realizada sobre el mediodía. En Arbayun la primera vez no hubo mejor suerte que en Ardanaz y el receptor no recibió nada. La segunda vez en cambio sí que se obtuvieron unas pequeñas señales. La razón es que se aumentó el nivel de amplificación del circuito.

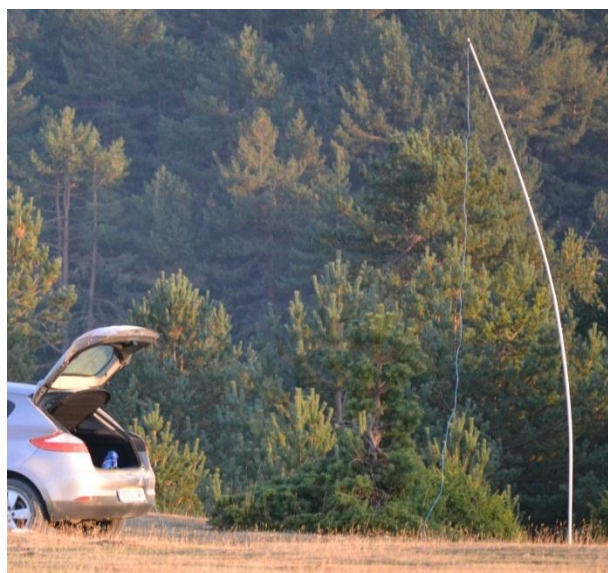


Imagen 57: Palpate

La suerte cambio con las muestras en alto de Igal y en Palpate ya que ahí, sí que se recibieron señales con mayor frecuencia e intensidad.

Las señales llamadas sferics, si las hay, se verán representadas como una línea vertical. Estas señales son señales de espectro ancho y todas las frecuencias se ven representadas en el mismo punto de tiempo. La razón es que como los sferics son señales generalmente de tormentas que no están muy lejos, las señales no se distorsionan y llegan de esta manera al receptor.

Los tweeks y los whistlers, sí tienen esa distorsión de la que hemos hablado y se verán representados con una curvatura. Ya hemos hablado de las diferencias de las distintas señales que hay cuando hemos presentado las señales en la sección “2.2. Tipos de señales” pero aquí veremos más detalladamente el porqué de esa distorsión y diferencia en el sonido que emiten.

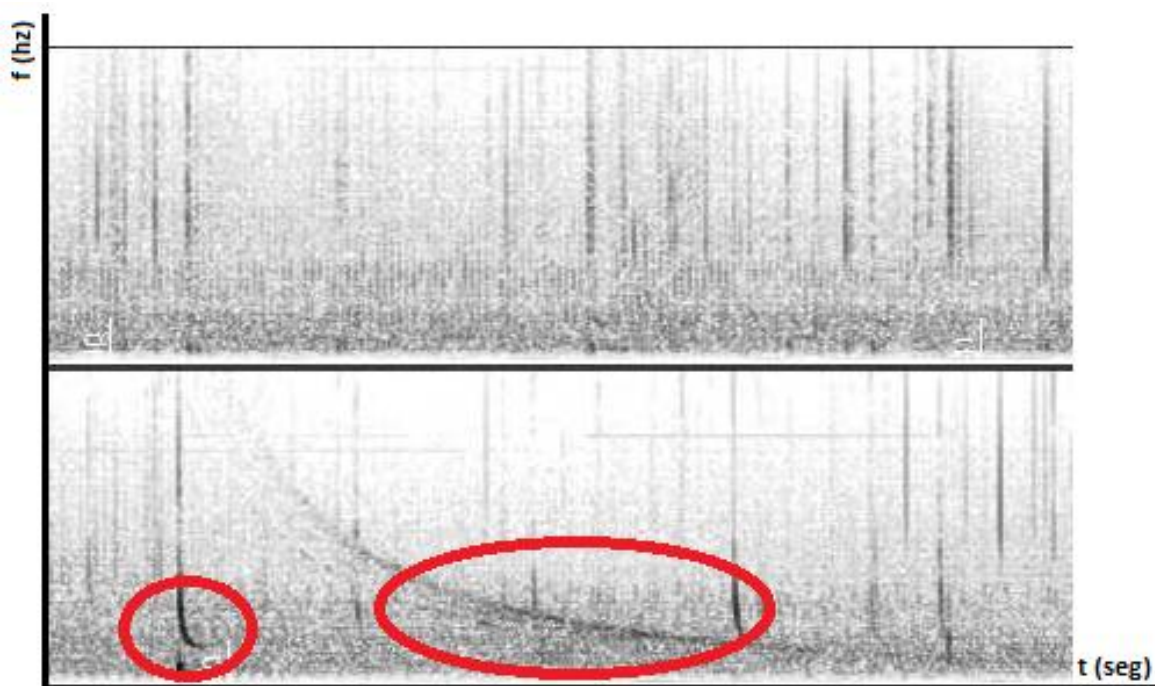


Imagen 58: Sferics, tweeks y whistlers

En la *imagen 58*, podemos ver las diferentes señales. Los sferics, sobre todo en la parte superior y abajo un tweek y un whistler señalado. El eje x es el tiempo y el eje y la frecuencia.

Cuanto mayor sea la frecuencia, más agudo será el sonido que emita. De esta manera los sferics como todas las frecuencias llegan a la vez se escucha una especie de “pop” o chasquidos.

Se puede ver un tweek señalado en la elipse roja pequeña. Aunque no se ve, la curvatura se produce en los 2 kHz. Son señales que tienen el origen más lejano que las anteriores y sí sufren una pequeña distorsión. Las frecuencias más bajas vemos que llegan un poco más tarde que las que son más altas y es por eso, por lo que se produce esa curva. El sonido también es más prolongado de que el de las anteriores.

Los whistlers, se puede ver uno en la elipse roja grande, sufren mucha más distorsión como se puede ver en la imagen superior. Como es lógico, su sonido es un silbido que se prolonga en el tiempo más que las dos señales anteriores.

Existen también los llamados chorus, que digamos que sería el conjunto de todas las señales juntas.

6.3.1. SEÑALES RECIBIDAS POR MI RECEPTOR

A continuación, vamos a ver las diferentes capturas que he realizado. Se expondrá una muestra de cada grabación con un comentario en referencia a lo que cada imagen muestra. Como en Ardanaz no se recibió ningún tipo de señal no se pondrá ningún tipo de gráfico o imagen.

- ALTO DE IGAL-27 de julio de 2012, al amanecer.

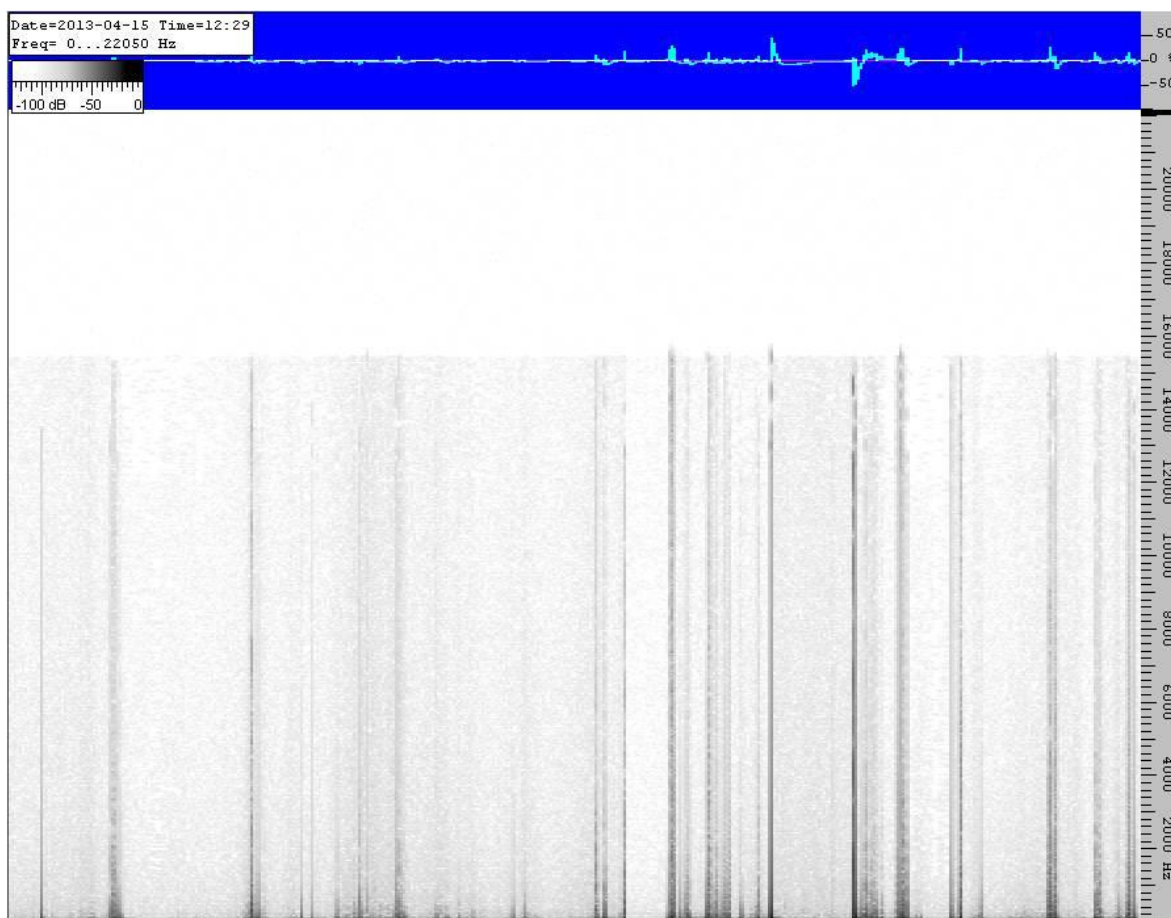


Imagen 59: Alto de Igal

Se recibieron señales con mayor intensidad y durante prácticamente todo el rato que duró la grabación. Se pueden ver sferics con distinta intensidad entre cada uno de ellos y además se puede percibir que se recibió una señal de ambiente ya que el fondo, en lugar de estar blanco esta gris. En la imagen, en la esquina superior izquierda tenemos la paleta de colores utilizada. Si no tuviésemos ningún tipo de señal se vería la pantalla blanca, pero al tener ese gris claro entiendo que hubiese una especie de ruido.

- ARBAYUN-5 de septiembre de 2012, al anochecer.



Imagen 60: Arbayun

Se pueden observar unos sferics y nada más. Durante el resto de la grabación se pueden apreciar otros pocos pero en general no se recibieron señales muy frecuentemente. Esto puede ser debido a que la localización no fuese tan buena como en un principio parecía.

- PALPATE-11 de septiembre de 2012, al anochecer.

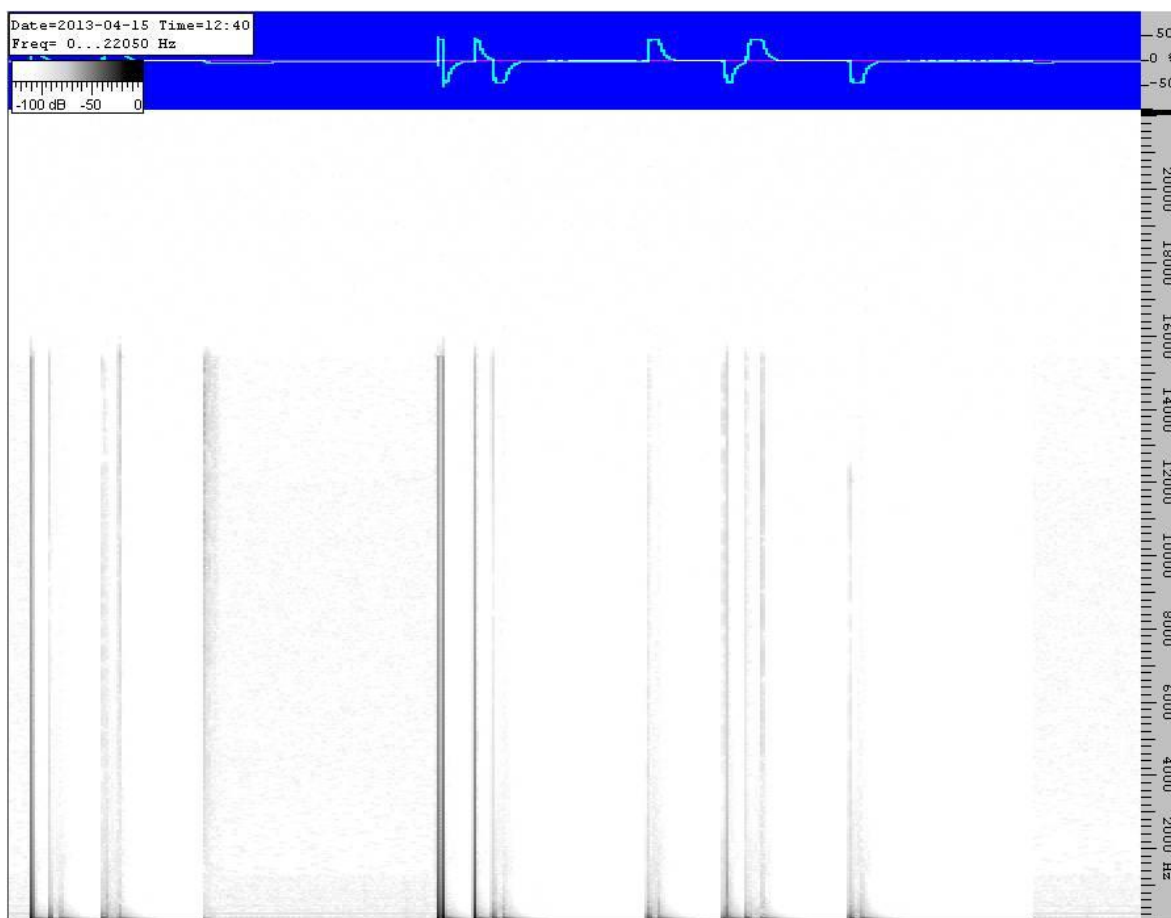


Imagen 61: Palpate

Se pueden ver sferics de distinta intensidad. El fondo es más blanco que por ejemplo en el alto de Igal, por lo que se trata de un lugar silencioso, refiriéndome claro está, a ruido electromagnético. Eso se muestra, que al oír la grabación se escucha mejor los chasquidos emitidos por los sferics.

- PALPATE-12 de septiembre de 2012, al amanecer.

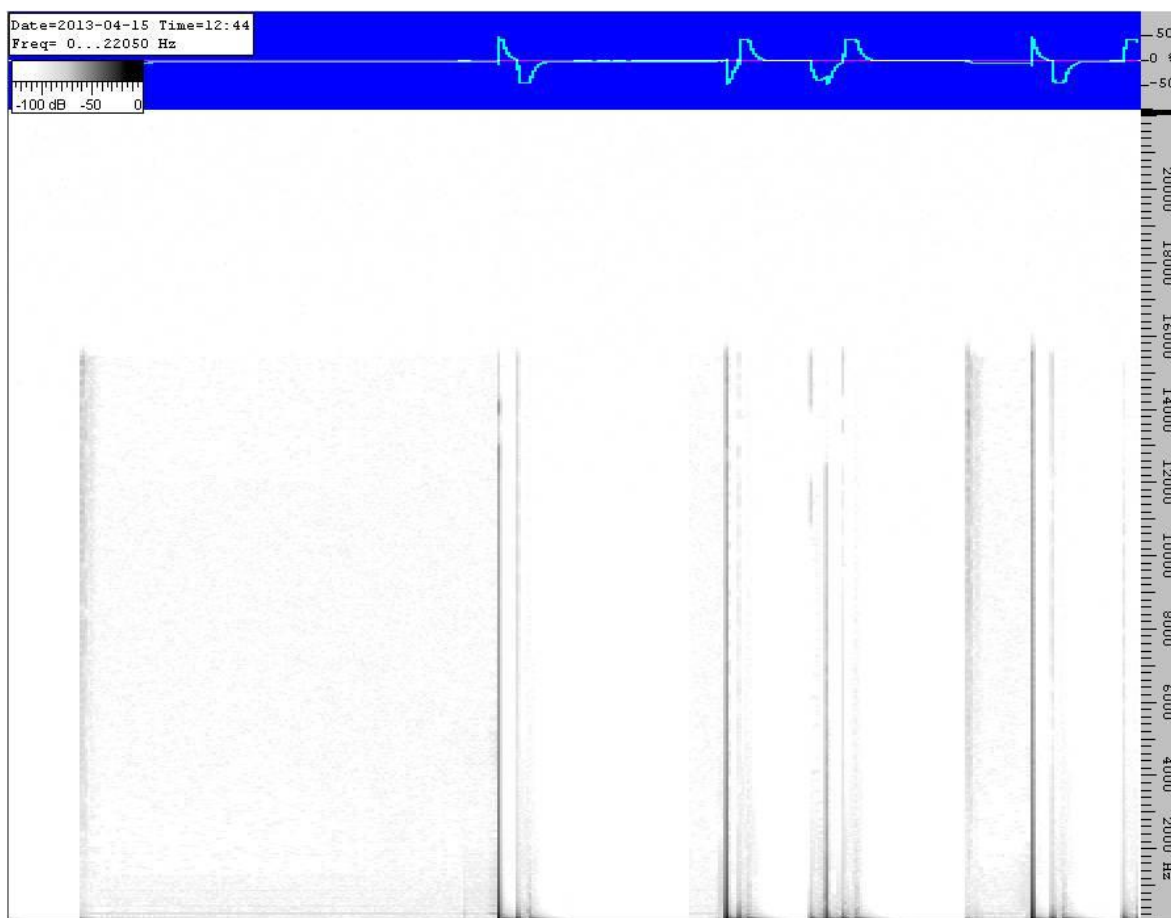


Imagen 62: Palpate

Prácticamente es la misma muestra que la anterior. Vemos sferics también, aunque con menor intensidad que al anochecer del día anterior. Igualmente nos muestra que es un lugar con poco ruido, probablemente debido a que la localidad más cercana está a unos kilómetros y que esta localización está a una buena altura.

CONCLUSION

La naturaleza nos brinda diferentes experiencias que conocemos y que nos quedan por conocer. Esto es lo que ocurre por ejemplo, con los sonidos que emiten los fenómenos naturales, que debido quizás a que el ser humano no es capaz de escucharlos sin ningún equipo, es desconocido para la mayoría de las personas.

En este proyecto se ha mostrado este fenómeno desde su origen, describiendo cómo es la onda electromagnética y alguna de sus características, cómo se propagan las señales y cómo pueden ser captadas por un receptor. Por un lado, se muestran diferentes antenas y su uso para diferentes fines, así como la construcción de una antena monopolo vertical muy simple utilizando elementos muy básicos como son el cable y los tubos de PVC. Por otro lado, se explica y se analiza el circuito eléctrico, que nos permite filtrar y amplificar la señal paso por paso.

Finalmente, se muestran ejemplos de grabaciones realizadas con el equipo previamente descrito y los lugares en los que se han llevado a cabo. Con respecto a las localizaciones donde se han hecho las capturas, apuntar que el mejor sitio, es decir, en el que mejores resultados se han obtenido, ha sido el de Palpate, en los mismos pirineos.

De esta manera y con el objetivo cumplido de haber ofrecido una clara y sencilla visión de la recepción de emisiones electromagnéticas emitidas por fenómenos naturales, doy fin a este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- JOSEPH J. CARR, *Antenna toolkit*. Editado por Newnes, 1997.
- *ELF and VLF radio waves*. Journal of atmospherics and solar-terrestrial physics.
- JON WALLACE, *amateur radio astronomy projects- a whistler radio*.
- *Deteccion de ondas electromagneticas naturales*. Investigacion y ciencia, Julio 1996.
- PAUL MCGREEVY, *Pocket-portable wr-3 natural-VLF-radio phenomena receiver listening guide*, Mayo 2002.
- ALVES THIERRY, *Simple earth-ionosphere waveguide calculation*, Agosto 2003.
- STEVEN ANDREW CUMMER, *Lightning and ionospheric remote sensing using VLF/ELF radio atmospherics*, Agosto 1997.
- *Introduction to VLF*, vlf.stanford.edu/research/introduction-vlf
- MICHAEL MIDEKE, *A beginner's guide to natural VLF radio phenomena*.
- RICHARD FITZPATRICK, *Electromagnetism and Optics*.
- JACQUES AUDET, *Using Spectrum Laboratory (Spec Lab) for precise audio frequency measurements*, Noviembre 2009.
- DONALD L. CARPENTER, *The history of Very Low Frequency (VLF) radio research at Stanford; more than sixty years of discovery, innovation and analysis*, Enero 2013.
- CONSTANTINO PÉREZ VEGA, JOSÉ MARÍA ZAMANILLO SÁINZ DE LA MAZA, ALICIA CASANUEVA LÓPEZ, *Sistemas de telecomunicación*, Mayo 2007.
- MORRIS COHEN, NADER MOUSSA, *Sounds of VLF*.